心理学报 2020, Vol. 52, No. 9, 1031−1047
Acta Psychologica Sinica

https://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1041.2020.01031

语境预测性对阅读中字词加工过程的影响：眼动证据*

刘志方[1] 仝 文[2] 张智君[3] 赵亚军[4]

([1]杭州师范大学教育学院，杭州 311121) ([2]山西师范大学心理学系，临汾 041004)
([3]浙江大学心理与行为科学系，杭州 310028) ([4]西南民族大学教育学与心理学学院，成都 610041)

摘 要 研究包含3项实验，通过观察语境预测性与目标词汇的整词词频、词内汉字字频间交互作用，以探讨阅读中语境预测性如何影响中文词汇加工问题。研究以双字词为例，实验1操控目标词汇的语境预测性与整词词频，结果发现，语境预测性与整词词频交互作用不显著。实验2操控目标词汇的语境预测性与首字字频，结果发现，语境预测性与首字字频交互作用不显著。实验1和实验2的贝叶斯分析都倾向于支持交互作用不存在假设。实验3操控目标词汇的语境预测性与尾字字频，结果发现，语境预测性与尾字字频交互影响首次注视时间、凝视时间、总注视时间和再注视概率。由此可知，语境预测性与整词词频、首字字频变量相对独立地影响词汇加工；语境预测性直接影响词内汉字(尾字)的加工过程。

关键词 中文阅读；语境预测性；字词加工；眼动

分类号 B842

1 引言

识别词汇是阅读理解文本的必要前提，语境信息通常也会影响(促进)词汇识别(Clifton et al., 2016; Rayner, 1998, 2009)。多种证据显示，高语境预测性目标词汇的加工效率优于低语境预测性目标词汇。比如，拼音文字阅读中，低语境预测性词汇比高语境预测性词汇诱发更大波幅的N400脑电成分(Dambacher et al., 2006; Kretzschmar, Schlesewsky, & Staub, 2015)；读者注视高语境预测性目标词汇的时间(首次注视时间、凝视时间和总注视时间)和再注视概率显著少于低语境预测性目标词汇，高语境预测性词汇被跳读的概率也多于低语境预测性词汇(Ashby, Rayner, & Clifton, 2005; Balota, Pollatsek, & Rayner, 1985; Ehrlich & Rayner, 1981; Fischler, 1985; Schustack, Ehrlich, & Rayner, 1987; Rayner & Well, 1996; Rayner, Binder, Ashby, & Pollatsek, 2001; Rayner, Reichle, Stroud, Williams, & Pollatsek, 2006)。中文阅读中同样可见相应的语境预测性效应(陈朝阳，刘志方，苏永强，程亚华，2018; Lee, Liu, & Tsai, 2012; Rayner, Li, Juhasz, & Yan, 2005)。由此可见，读者利用语境预测性信息促进词汇加工是个跨语言的、普遍性的规律。然而，语境预测性如何影响整个词汇加工过程？目前系统探讨此问题的研究尚不多见。本研究拟在中文阅读背景下探讨这个问题。

视觉词汇加工大致区分为3个阶段：前词汇加工(prelexical processing)、词汇通达(lexical access)和后词汇加工(post-lexical processing) (Forster, 1979, 1981; Fodor, 1983)。前词汇加工和词汇通达是识别词汇的先决环节；后词汇加工涉及语义整合(semantic integration)，直接关乎阅读理解。研究发现，相对于低语境预测性词汇，高语境预测性词汇更容易被整合理解(Dambacher et al., 2006)。语境预

收稿日期: 2019-10-22
* 国家社会科学基金青年项目(17CYY059)研究成果。
通信作者：张智君, E-mail: zjzhang@zju.edu.cn

测性是否(以及如何)影响词汇通达和前词汇加工阶段？目前尚无确定结论。词频是影响词汇通达的重要变量(Hudson & Bergman, 1985; Monsell, Doyle, & Haggard, 1989; Sereno & Rayner, 2000, 2003)，语境预测性与词频交互作用显著意味着语境预测性直接影响词汇通达(Hand, Miellet, O'Donnell, & Sereno, 2010)。前词汇加工包括视觉加工、词形知觉、语音/正字法提取等多个加工成分(Forster, 1981; Lee et al., 2012)。语境预测性与词汇下水平变量交互作用显著意味着语境预测性直接影响前词汇加工。早期探讨单个拼音词汇识别的研究显示，语境预测性与词频交互影响识别单词的反应时间(Stanovich & West, 1981, 1983)。逐词呈现的阅读任务实验发现，语境预测性与词频交互影响脑电N100波幅(Lee et al., 2012; Sereno & Rayner, 2003)。Inhoff (1984)发现，语境预测性与词频交互影响目标词汇的凝视时间。这些结果意味着，语境预测性可能直接影响词汇通达或前词汇加工。然而，Inhoff (1984)的阅读任务中部分词汇被掩蔽，这种任务与自然阅读的差异较大；行为实验、逐个呈现单词的脑电实验也都并非自然阅读，故上述结论是否普适于自然阅读还有待商榷。

自然阅读中(主要是拼音文字阅读)语境预测性与词频之间的交互作用并不明朗。研究发现，在眼动数据上，健康成年读者的语境预测性与词频交互作用不显著(Altarriba et al., 1996; Gollan et al., 2011; Kliegl, Grabner, Rolfs, & Engbert, 2004; Miellet, Sparrow, & Sereno, 2007; Rayner et al., 2001; Rayner, Ashby, Pollatsek, & Reichle, 2004; Rayner et al., 2006)，但低阅读技能成年读者和失语症读者的语境预测性与词频交互作用则达到显著水平(Ashby et al., 2005; Huck, Thompson, Cruice & Marshall, 2017)。Hand 等(2010)分析了预视加工对两者交互作用的影响，结果发现，目标词汇上首次注视点之前眼跳的幅度越短，语境预测性与词频间交互作用就越为显著，他们据此推测，两者之间的交互作用受到预视加工影响，充分预视目标词汇的情况下语境预测性与词频交互影响词汇通达，预视不够充分时语境预测性与词频则相对独立地影响词汇识别。不过，采用严苛的统计方法后，Slattery, Staub 和 Rayner (2012)的研究并未发现语境预测性与词频之间的交互作用显著。总得来说，拼音文字阅读中语境预测性与词频之间的交互作用并不稳定，这意味着拼音文字阅读中语境预测性直接影响词汇通达的证据并不充分。

中文阅读中的词汇加工与眼动控制也受语境预测性的影响(陈朝阳 等, 2018; Liu, Guo, Yu, & Reichle, 2018; Rayner et al., 2005)。语境预测性与词频是否交互影响中文词汇通达？脑电研究发现，繁体中文阅读中语境预测性与词频交互影响 N100 波幅，但在 P200 和 N400 脑电上两者交互作用并不显著(Lee et al., 2012), N100 反应早期视觉分析和知觉加工特点，这意味着语境预测性对词汇加工的影响起始于视觉分析。繁体与简体中文在视觉复杂性上有所差异，基于脑电研究阅读时都采用逐词呈现的方法，这与自然阅读相差较大，故这项结论是否普适于简体中文自然阅读仍需探讨。简体中文自然阅读的眼动研究发现，语境预测性与词频之间的交互作用在各项注视时间(首次注视时间、凝视时间和总注视时间)上均不显著(卢张龙，白学军，闫国利, 2008)。由此可见，支持“语境预测性与词频交互影响中文词汇通达”的证据也尚不充分。不过，根据统计思想，检测不到的效应并不代表它不存在(Altman & Bland, 1995; Cervero & Laird, 2000)，能否发现相关效应涉及到统计力、效应量等多个因素。在语境预测性与词频交互问题上，即使两者交互影响词汇通达过程，交互作用效应量较小时，其仍难发现(Hand et al., 2010)，探讨之则容易犯“假阴性”错误。分析卢张龙等人(2008)的结果可以发现，其中语境预测性与词频间交互作用的效应量都小于 0.1，该研究中所使用的实验材料和被试取样数量均不多，这种情况下语境预测性与词频间的交互作用较难捕捉。本研究拟通过增加被试数量，进而继续探讨语境预测性与词频交互作用显著的可能性，抑或坐实两个因素交互作用不显著的稳定性。

研究语境预测性与词频是否交互影响词汇识别，有利于检验/完善阅读理论模型。迄今为止，较为成熟的阅读眼动控制模型(比如，E-Z 读者和 SWIFT 模型)都是在解释语境预测性和词频效应的基础上构建。E-Z 读者模型的早期版本假定两者交互影响熟悉性检验(早期加工)和词汇通达(Reichle, Pollatsek, Fisher, & Rayner, 1998; Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003)。然而，后续的实证研究仅在注视时间上发现，低频词汇的语境预测性效应略大于高频词汇，但从整体上看，语境预测性与词频之间的交互作用并不显著，为了拟合这些数据，E-Z 读者模型的后续版本设定语境预测性和词频以独立/相加的方式影响词汇识别的两个加工阶段(Rayner

et al., 2004)。SWIFT 模型的各发展版本中，语境预测性与词频都是以不同的方式影响词汇识别，故该模型能够拟合交互作用显著数据(Engbert et al., 2005; Hand et al., 2010; Richter, Engbert, & Kliegl, 2006)。Glenmore 模型借鉴交互激活理论的观点，直接假定整词激活与字母激活之间存在交互关系，但却并未设定语境与词汇激活之间的交互模式，也没有设定语境与词汇下水平激活间的交互模式(McClelland & Rumelhart, 1981; Reilly & Radach, 2006; Rumelhart & McClelland, 1982)。由此可见，相应理论的验证与发展，都需后续实证数据的推动。

在解释"语境预测性如何影响拼音文字阅读中的词汇识别"问题上，上述理论模型都取得较大成功，但用它们解释中文阅读中的语境预测性效应还需慎重，这是因为中文词汇(尤其是多字词)的加工阶段与拼音词汇差异较大。首先，绝大数(76%)的中文词汇由两个汉字组成，中国读者是以整词方式激活双字词汇，首字加工完全受制于整词加工，但尾字加工却有一定独立性(Li, Rayner, & Cave, 2009; Shen, Li, & Pollatsek, 2018; 申薇，李兴珊, 2012)。其次，与拼音文字相比，中文读者需要在词切分的基础上识别词汇，词切分发生时程较早，且与尾字加工密切相关(Bai, Yan, Liversedge, Zang, & Rayner, 2008; Gu & Li, 2015; Li & Shen, 2013; Liang et al., 2015; Liu & Li, 2012; Reilly & Radach, 2012; Yen, Radach, Tzeng, & Tsai, 2012)。最后，识别词汇(多字词)需要经历字的加工和词的加工两个环节，李兴珊等人认为，字的加工和词的加工之间存在交互激活机制，但语境与词的加工、字的加工之间是否存在交互机制则尚无明确假设(Li et al., 2009; Li, Bicknell, Liu, Wei, & Rayner, 2014; 李兴珊 等, 2011)。综上可知，考察中文阅读中的语境效应，除了需要观察语境与整词词频变量间交互作用外，还不能回避语境与汉字加工间的交互问题，而系统探讨这些交互作用有助于丰富和完善阅读中的字词加工与眼动控制机制。

语境预测性与词频交互作用显著意味着语境会预激活相应整词表征，语境加工至少从词汇通达阶段开始影响词汇加工。中文阅读中，语境预测性是否会促进前词汇加工呢？解决此问题需观察语境预测性与前词汇变量间的交互模式。本研究将从整词加工环节和词内汉字加工环节(包括汉字的视觉分析、字形知觉和单字识别等)入手，探讨"语境影响词汇加工的时间起始点，以及具体方式"，从而较为系统地解决语境影响中文词识别的具体机制。已知双字词汇的词频效应能代表整词通达，前词汇变量(词内汉字字频)会影响词汇加工(词汇上的眼动数据) (Li et al., 2014; Lin et al., 2018; Ma & Li, 2015; Ma, Li, & Rayner, 2015; Yan, Tian, Bai, & Rayner, 2006)，故本研究选择最具代表性的双字词汇作为研究对象，拟通过 3 项实验观察语境预测性与整词词频、词内汉字字频间的交互作用，探讨研究问题。研究假设，若语境预测性直接影响词汇通达，语境预测性与整词词频交互作用将会显著；若语境预测性直接影响前词汇加工，语境预测性与字频变量交互作用将会显著；否则则说明语境预测性与频率变量相对独立地影响中文词汇加工。

2　实验 1：语境预测性对词频效应的影响

2.1　实验方法

2.1.1　被试

参照以往研究，招募被试前使用 G Power 计算所需样本量。梳理已有文献可见语境预测性与词频的交互作用效应量本身较低(小于 0.1)，因而通过增加样本量方有可能观察到语境预测性与频率变量(词频/字频)之间的交互作用显著。目前为止，仅看到一篇使用眼动技术探讨中文阅读中语境预测性与词频间交互作用的论文(卢张龙 等, 2008)，根据该论文提供的数据计算所需样本量为 282 人，为得到稳定结果后续 3 项实验中招募的被试均在 320 人左右。3 项实验均在杭州师范大学校园内招募被试。322 名母语为汉语大一本科生参与实验 1。电话预约被试前提醒近视的被试佩戴近视镜，所有被试的视力或矫正视力正常，无色盲色弱，所有被试之前均未参加过类似实验，实验结束后获得一定报酬。

2.1.2　实验材料

实验材料编制过程如下：首先，参照语料库在线网站(www.cncorpus.org)提供数据库信息(主要参照整词词频和单字字频)选取名词词对。然后，利用这些词对编造框架句子，保证词对中的两个词汇分别放置在框架句子的相同位置(基本处于句子中间)后都能形成语义正常、合理的句子。保证词对的两个词汇分别是框架句子背景下的低预测性词汇和高预测性词汇，并结合词频因素共计设置 4 种目标词汇："高预测性–高频"目标词、"低预测性–低频"

表 1 实验 1 四种目标词汇的字频、笔画数, 整词词频和语境预测性参数均值和标准差

目标词汇种类	语境预测性	整词词频	首字字频	尾字字频	首字笔画数	尾字笔画数
高预测性−高频	0.74 (0.14)	111.60 (62.59)	792.27 (537.11)	597.95 (435.01)	7.45 (2.87)	7.60 (2.68)
低预测性−低频	0.01 (0.01)	3.42 (0.72)	798.27 (1038.02)	684.40 (545.69)	7.25 (3.54)	7.25 (2.17)
高预测性−低频	0.74 (0.17)	3.69 (1.30)	630.24 (818.67)	554.74 (571.21)	7.60 (2.60)	7.65 (2.52)
低预测性−高频	0.01 (0.02)	113.94 (60.21)	729.21 (531.07)	768.29 (580.95)	7.20 (2.53)	7.65 (1.53)

目标词、“高预测性−低频”目标词和“低预测性−高频”目标词。最后, 邀请 19 名大学生根据目标词之前的句子内容将句子补充完整, 根据填充效果确定目标词汇的语境预测性。

在平衡无关变量的基础上选择合适框架句子。最终选取了 40 个框架句。40 个框架句子中的“高预测性−高频”目标词与“高预测性−低频”目标词、“低预测性−低频”目标词与“低预测性−高频”目标词在语境预测性程度上差异不显著($ps > 0.05$); 40 个框架句子中的“高预测性−高频”目标词与“低预测性−高频”目标词、“低预测性−低频”目标词与“高预测性−低频”目标词在整词词频上差异也不显著($ps > 0.05$); 40 个框架句子中的 4 种目标词汇在首字字频、尾字字频、首字笔画数和尾字笔画数方面差异不显著($ps > 0.05$)。各组词汇在各项参数上均值和标准差见表 1。

由表 2 可知, 40 个框架句子可被区分成两种类型(每个类型 20 句)。其中第一种类型框架句子可包含“高预测性−高频”目标词汇或“低预测性−低频”目标词汇, 第二种类型框架句子可包含“高预测性−低频”目标词汇或“低预测性−高频”目标词汇。所有框架句子中, 目标词汇左侧位置上的词汇也是双字词。两种类型框架句子中目标词汇左侧词在“整词词频、首字字频、尾字字频、首字笔画数和尾字笔画数”上差异均不显著($ps > 0.05$)。

另外, 邀请 40 名大学生对实验句子的通顺性与合理性进行 5 点评定, 其中 20 名评定句子通顺性(1 代表非常不通顺, 5 代表非常通顺), 另外 20 名评定句子的合理性(1 代表非常不合理, 5 代表非常合理)。结果发现: 包含 4 类目标词汇框架句子的通顺性和合理性不受“目标词汇的语境预测性变量、词频变量及其交互作用”的影响($Fs < 0.34$, $ps > 0.56$; 包含“高预测性−低频”目标词框架句子: 通顺性 4.48, 合理性 4.44; 包含“高预测性−高频”目标词框架句子: 通顺性 4.55, 合理性 4.57; 包含“低预测性−低频”目标词框架句子: 通顺性 4.44, 合理性 4.51; 包含“低预测性−高频”目标词框架句子: 通顺性 4.34, 合理性 4.55)。

2.1.3 实验设计

实验采用 2(目标词汇的语境预测性: 高预测性 *vs* 低预测性) × 2(目标词汇的词频: 高词频 *vs* 低词频)两因素被试内设计。以拉丁方方式来匹配框架句子和目标词汇。这种匹配方式会共形成 2 个实验文件, 每个实验文件中都包含 40 个框架句子, 这些句子分别包含 4 种目标词汇。具体而言, 实验文件 1 中 40 个框架句子与目标词汇的组合方式为: 1~10 框架句包含“高预测性−低频”目标词, 11~20 框架句包含“低预测性−高频”目标词, 21~30 框架句包含“高预测性−高频”目标词, 31~40 框架句包含“低预测性−低频”目标词。实验文件 2 中 40 个框架句子与目标词汇的组合方式为: 1~10 框架句包含“低预测性−高频”目标词, 11~20 框架句包含“高预测性−低频”目标词, 21~30 框架句包含“低预测性−低频”目标词, 31~40 框架句包含“高预测性−高频”目标词。每个被试只阅读其中一个实验文件, 其中的 40 个句子随机呈现。完成实验文件 1 和实验文件 2 的被试数量相同, 这样便有效地控制了被试误差和实验材料误差。各种句子设置举例见表 2。

表 2 实验 1 中包含 4 种目标词汇的框架句子举例

目标词汇种类	框架句子
高预测性−高频	公司经理在提高产品***质量***方面花费了大量精力。
低预测性−低频	公司经理在提高产品***名声***方面花费了大量精力。
高预测性−低频	外星人经常驾驶***飞船***去往地球的各个角落。
低预测性−高频	外星人经常驾驶***汽车***去往地球的各个角落。

注: 加粗斜体为目标词汇, 下同

2.1.4 实验设备

实验采用加拿大 SR research 公司生产的 Eyelink 1000 眼动记录仪, 采样频率为 1000 Hz, 空间分辨率为 0.01°。被试机屏幕刷新频率为 75 Hz, 分辨率为 1024 × 768 像素。实验句子都以宋体 20 号字单行呈现在屏幕中央, 被试距离屏幕 45 cm,

每个汉字约成 1.32°视角。

2.1.5 实验程序

实验时，首先调整座椅和下巴托高度，使被试视线与屏幕中央保持水平。准备就绪后，进入电脑实验程序。刺激材料呈现电脑上首先呈现指导语，主试向被试解释说明实验流程，待被试阅读理解指导语和实验流程后，主试校准眼动设备，当校准误差低于 0.5°时接受校准结果，电脑呈现实验句子并收集眼动数据。电脑呈现句子、记录眼动数据的流程中包含了两个部分：练习部分和正式实验部分。首先开始练习部分，练习完成且确定被试理解实验流程后，开始正式实验，否则主试再次向被试解释实验流程，并重新练习直到被试完全理解实验流程。练习和正式实验中，部分句子后面跟随问题句，要求被试根据前一句内容，通过按键判断问题句的正确与错误。

电脑呈现句子、记录眼动的基本流程如下：首先，在呈现句子之前，白色的电脑屏幕的左侧位置会出现一个黑色圆环，这个圆环所在位置是句子的起始位置，被试需注视这个圆环的同时按键，随后才会出现实验句子(被试在没有注视这个圆环的情况下按键，句子不会呈现；眼动仪追踪被试注视位置的误差较大时，被试按键也不会出现句子，此时主试提醒被试重新校准眼动设备)。屏幕上每次只出现一个句子，被试读完这个句子后，再次按键句子消失，屏幕转为白屏，白屏的左侧位置再次出现一个黑色圆环，被试再次注视这个黑色圆环，并按键开始下一句子阅读，以此类推，直到所有句子呈现完毕。当被试注视屏幕左侧圆环按键、句子呈现前的瞬间，主试机电脑屏幕上会呈现本次注视的追踪误差，主试实时监视这个追踪误差，当其大于 0.5°时，重新校准眼动仪。

2.2 数据处理

根据研究目的，实验主要分析目标词汇兴趣区域上的注视时间和注视概率两类指标。其中时间指标包括：(1)首次注视时间，第一遍阅读中首次注视目标词汇注视点的持续时间；(2)凝视时间，第一遍阅读中从首次注视目标词汇开始至到注视离开目标词汇之间所有注视点持续时间之和；(3)总注视时间，目标词汇上所有注视点持续时间之和。概率指标包括：(1)跳读概率，特定实验条件下，第一遍阅读中被跳读目标词数量与该条件下目标词总量之间的比值；(2)回视概率，特定实验条件下被回视目标词数量与该条件下目标词总量之间的比值；(3)再注视概率，第一遍阅读中，特定实验条件下被注视两次或以上的目标词数量与该条件下目标词总量间比值。

分析上述数据之前，先剔除练习句和判断句，然后基于线性混合模型分析因变量数据，在 R 环境中使用 lme4 统计软件包进行分析(Baayen, Davidson, & Bates, 2008; Barr, Levy, Scheepers, & Tily, 2013; Bates, Maechler, Bolker, & Walker, 2015)。分析时间指标(首次注视时间、凝视时间和总注视时间)前先将这些指标进行对数转换，转换完成后当做连续变量处理，跳读概率、回视概率和再注视概率则被作为两分变量直接处理。分析模型同时包含被试和项目两种误差，语境预测性、词频变量及其交互作用项都作为固定因子纳入分析模型。分析注视时间指标采用 LMM 模型，分析概率指标采用 GLMM 模型。时间指标分析的模型除了包含固定因子外，还包含首次注视落点位置和首次注视起跳位置两个协变量。所有模型均未包括 slope 项，因为增加 slope 会导致模型不能收敛。报告回归系数 b、标准误 SE、t 值(t = b/SE)、p 值以及 95%的置信区间(95% CI)。

2.3 实验结果

被试回答问题正确率的均值在 90%以上，表明其认真阅读并充分理解实验句子。各条件下因变量的均值与标准差见表 3，分析结果见表 4。

表 3　实验 1 各条件下目标词汇上注视时间类指标和注视概率类指标的均值与标准误差

指标	高语境预测性		低语境预测性	
	高频词	低频词	高频词	低频词
首次注视时间	221 (2.34)	223 (2.34)	228 (2.34)	241 (2.34)
凝视时间	238 (3.31)	243 (3.31)	252 (3.31)	277 (3.32)
总注视时间	247 (7.48)	261 (7.48)	343 (7.49)	375 (7.48)
跳读概率	30.0 (1.0)	30.2 (1.0)	26.7 (1.0)	24.8 (1.0)
再注视概率	6.2 (0.7)	7.5 (0.7)	9.1 (0.7)	13.3 (0.7)
回视概率	5.6 (0.6)	7.1 (0.6)	12.1 (0.6)	14.1 (0.6)

注：注视时间类指标单位为 ms，注视概率类指标单位为%，括号内为标准误差，下同。

由表 3 和表 4 的统计结果可知：语境预测性和词频变量在 3 项注视时间指标(首次注视时间、凝视时间和总注视时间)和 2 项注视概率指标(再注视概率和回视概率)上显著，读者注视高频/高语境预测性目标词汇的时间、再注视和回视概率均小于低频/低语境预测性目标词汇。在跳读概率指标上仅发现语境预测性效应显著，读者跳读高语境预测性目

表 4 实验 1 混合线性模型分析结果

变量	首次注视时间					凝视时间				
	b	*SE*	*t*	*p*	95% CI	*b*	*SE*	*t*	*p*	95% CI
Intercept	2.32	0.01	422.53	< 0.001	[2.30, 2.33]	2.37	0.01	332.77	< 0.001	[2.35, 2.38]
词频	0.02	0.00	5.38	< 0.001	[0.01, 0.02]	0.03	0.00	7.42	< 0.001	[0.02, 0.03]
语境预测性	0.02	0.00	7.16	< 0.001	[0.02, 0.03]	0.04	0.00	10.15	< 0.001	[0.03, 0.04]
词频×语境预测性	0.02	0.01	1.59	0.12	–	0.03	0.02	1.45	0.16	–
变量	**总注视时间**					**跳读概率**				
	b	*SE*	*t*	*p*	95% CI	*b*	*SE*	*z*	*p*	95% CI
Intercept	2.46	0.01	225.76	< 0.001	[2.44, 2.48]	−1.05	0.06	−17.05	< 0.001	[−1.18, −0.93]
词频	0.03	0.00	5.80	< 0.001	[0.02, 0.03]	−0.05	0.04	−1.30	0.19	–
语境预测性	0.10	0.00	22.99	< 0.001	[0.09, 0.11]	−0.23	0.04	−5.64	< 0.001	[−0.31, −0.15]
词频×语境预测性	0.01	0.04	0.35	0.73	–	−0.14	0.20	−0.71	0.48	–
变量	**再注视概率**					**回视概率**				
	b	*SE*	*z*	*p*	95% CI	*b*	*SE*	*z*	*p*	95% CI
Intercept	−2.78	0.10	−27.81	< 0.001	[−2.98, −2.59]	−2.52	0.09	−26.98	< 0.001	[−2.70, −2.34]
词频	0.35	0.07	5.35	< 0.001	[0.22, 0.47]	0.22	0.06	3.45	< 0.001	[0.10, 0.34]
语境预测性	0.56	0.07	8.69	< 0.001	[0.44, 0.69]	0.84	0.06	13.23	< 0.001	[0.72, 0.97]
词频×语境预测性	0.23	0.32	0.71	0.48	–	−0.10	0.34	−0.29	0.78	–

标词汇的概率大于低语境预测性目标词汇。语境预测性与词频间的交互作用在任何指标上均不显著。

考虑到通过零假设检验的统计结果(*p* 值)推断无效应有所不足, 故在 R 中补做贝叶斯统计分析(Morey et al., 2018), 参照以往研究报告注视时间指标(首次注视时间、凝视时间和总注视时间)的贝叶斯因子(胡传鹏 等, 2018; Rouder & Morey, 2012)。贝叶斯因子是由“不包含交互作用项模型的后验概率”与“包含交互作用项模型的后验概率”间比值所得, 这个值代表“假定语境预测性与词频之间的交互作用不显著时, 出现当前数据的可能性”是“在假定交互作用显著时, 出现当前数据可能性”的倍数, 当这个比值大于 1 时被认为倾向于接受虚无假设 H_0, 即交互作用不存在。默认先验概率(0.5)下, 首次注视时间、凝视时间和总注视时间的贝叶斯因子分别为: 6.29, 4.90, 6.33, 根据相关标准可知当前结果在中等程度上支持零假设(胡传鹏 等, 2018; Wagenmakers et al., 2017); 变换先验概率选择(0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8)多次计算得到的贝叶斯因子值均大于 2.32。可见实验 1 结果更加倾向于接受虚无假设, 即语境预测性与词频交互作用不存在。

2.4 讨论

实验 1 操控双字目标词汇的语境预测性和整词词频, 检验两个变量是否交互影响词汇通达环节。结果发现: 首先, 语境预测性影响所有的注视时间指标(首次注视时间、凝视时间和总注视时间), 读者注视高语境预测性词汇的时间显著少于低语境预测性词汇, 他们更容易跳读高语境预测性目标词汇, 再注视、回视低语境预测性目标词汇的概率则高于高语境预测性目标词汇。其次, 词频对注视时间、再注视概率和回视概率的影响类似于语境预测性, 读者注视高频目标词汇的时间显著少于低频目标词汇, 而对低频目标词汇的再注视、回视概率却高于高频目标词, 词频变量并不影响跳读概率。最后, 语境预测性与整词词频间的交互作用在所有眼动指标上均不显著, 贝叶斯分析结果也更加倾向于接受虚无假设。以往眼动研究结果显示, 语境预测性与词频之间交互作用不显著(卢张龙 等, 2008)。本研究大幅增加被试量并提供贝叶斯因子分析, 发现语境预测性与词频交互作用不显著是个稳定的结果。词频效应是词汇通达的证据(Hudson & Bergman, 1985; Monsell et al., 1989; Sereno & Rayner, 2000, 2003)。因而此结果意味着, 至少对成年健康中文读者而言, 语境预测性与词频变量以相对独立的方式影响词汇通达。

繁体中文阅读的 ERP 研究发现, 在 P200 脑电成分上(该成分能反映词汇通达过程)语境语境预测性与词频交互作用也不显著, 但在 N100 成分上两者交互作用显著, N100 反映视觉分析和词形知觉

表 5　实验 2 四种目标词汇的字频、笔画数、整词词频和语境预测性参数均值和标准差

目标词汇种类	语境预测性	整词词频	首字字频	尾字字频	首字笔画数	尾字笔画数
高预测性−首字高频	76.1 (19.2)	12 (12)	1558 (1062)	707 (727)	7.2 (2.1)	7.7 (2.1)
低预测性−首字低频	0.2 (0.11)	10 (11)	51 (27)	610 (841)	7.9 (2.1)	7.3 (2.4)
高预测性−首字低频	78.7 (19.2)	10 (11)	38 (27)	641 (884)	7.0 (2.3)	6.9 (2.7)
低预测性−首字高频	0.2 (0.11)	10 (11)	1377 (1044)	740 (767)	7.1 (2.0)	7.7 (2.5)

(Lee et al., 2012)。由此研究可以推测，尽管语境预测性与词频变量以相对独立的方式影响词汇通达，但两者可能以交互模式影响前词汇加工(比如，视觉分析和词形知觉等)，考虑到 Lee 等人(2012)的研究并没控制字频变量，词频与字频之间存在相关性，因而 N100 上语境预测性与词频交互作用可能也反映了语境预测性与字频变量之间的交互。另外，根据以往研究可知，多字词识别需经历字的加工环节，语境预测性影响词汇加工的发生时程较早，这是否意味着语境预测性会影响字的加工环节(其中包括字的视觉分析，字形知觉和字的识别等)呢？基于这些考虑组织后两项实验，通过观察语境预测性与目标词汇首字字频间交互作用，语境预测性与目标词汇尾字字频间交互作用，继续探讨语境预测性影响中文词汇识别的具体加工阶段(机制)问题。

3　实验 2：语境预测性对首字字频效应的影响

3.1　方法

3.1.1　被试

在杭州师范大学内招募被试。318 名母语为汉语的本科生参与实验。所有被试的视力或矫正视力正常，无色盲色弱，所有被试之前均未参加过类似实验，实验结束后获得一定报酬。

3.1.2　实验材料

实验材料的编制过程基本等同于实验 1，不同的是，实验 2 材料操控目标词汇的语境预测性和首字字频。同样邀请 19 名大学生根据目标词之前的句子内容将句子补充完整，根据其填充效果确定语境预测性程度。在平衡无关变量的基础上选择合适框架句子，最终选取了 48 个词对，分别适合 48 个框架句子。4 种目标词汇在整词词频、尾字字频、首字笔画数和尾字笔画数方面差异都不显著(ps > 0.05)。“高预测性−首字高频”目标词与“高预测性−首字低频”目标词、“低预测性−首字低频”目标词与“低预测性−首字高频”目标词在语境预测性程度上差异不显著(ps > 0.05)，“高预测性−首字高频”目标词与“低预测性−首字高频”目标词、“低预测性−首字低频”目标词与“高预测性−首字低频”目标词在首字字频上差异也不显著(ps > 0.05)。各组词汇在各项参数上均值和标准差见表 5。由表 6 可知，48 个框架句子可被区分成两种类型(每个类型 24 句)。两种类型框架句子中目标词汇的左侧词在“整词词频、首字字频、尾字字频、首字笔画数和尾字笔画数”上差异均不显著(ps > 0.05)。

同样邀请 40 名大学生分别对实验句子的通顺性与合理性进行 5 点评定(同实验 1)。结果发现：包含 4 类目标词汇框架句子的通顺性和合理性不受“目标词汇的语境预测性变量、首字字频变量及其交互作用”的影响(Fs < 0.58, ps > 0.45；包含“高预测性−首字低频”目标词框架句子：通顺性 4.41，合理性 4.26；包含“高预测性−首字高频”目标词框架句子：通顺性 4.47，合理性 4.22；包含“低预测性−首字低频”目标词框架句子：通顺性 4.42，合理性 4.38；包含“低预测性−首字高频”目标词框架句子：通顺性 4.40，合理性 4.41)。

3.1.3　实验设计

实验采用 2(目标词汇的语境预测性：高预测性 *vs* 低预测性) × 2(目标词汇的首字字频：高频 *vs* 低频)两因素被试内设计。框架句子和目标词汇之间的平衡方式同实验 1。各种句子设置举例见表 6。

表 6　实验 2 中包含 4 种目标词汇的框架句子举例

目标词汇种类	框架句子
高预测性−首字高频	哥哥要出远门，妈妈一边帮他收拾*行李*一边叮嘱他注意安全。
低预测性−首字低频	哥哥要出远门，妈妈一边帮他收拾*岩石*一边叮嘱他注意安全。
高预测性−首字低频	产科专家正在指导*孕妇*做好产前保健活动。
低预测性−首字高频	产科专家正在指导*经理*做好产前保健活动。

3.1.4　实验设备和程序

实验程序和实验程序同实验 1。

3.2　实验结果

实验因变量选择及其数据处理方法同实验 1。

被试回答问题正确率的均值在 90%以上，表明其认真阅读并充分理解实验句子。表 7 呈现眼动指标的均值与标准误差。表 8 显示各项指标分析结果。

由表 7 和表 8 的统计结果可知：语境预测性在各项眼动指标上显著，读者注视高语境预测性目标词汇的时间(首次注视时间、凝视时间和总注视时间)，再注视和回视高语境预测性目标词汇的概率都小于低语境预测性目标词汇，而跳读高语境预测性目标词汇的概率则大于低语境预测性目标词汇。首字字频效应在各项注视时间指标上都不显著，但读者跳读和回视首字高频目标词汇的概率都大于首字低频目标词汇，读者再注视首字高频目标词汇的概率则显著少于首字低频目标词汇。语境预测性与首字字频间交互作用在任何指标上均不显著。同样，参照实验 1 对注视时间做贝叶斯检验，结果发现，默认先验概率(0.5)情况下，首次注视时间、凝视时间和总注视时间的贝叶斯因子分别为，6.49, 9.62, 6.99，说明当前结果至少在中等程度上支持零假设。通过变换先验概率(0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8)多次计算得到的贝叶斯因子值均大于 2.91。可见实验 2 亦接受虚无假设 H_0，即语境预测性与首字字频交互作用不显著。

表 7 实验 2 各条件下目标词汇上注视时间类指标和注视概率类指标的均值与标准误差

指标	高语境预测性		低语境预测性	
	首字高频	首字低频	首字高频	首字低频
首次注视时间	228 (2.27)	224 (2.27)	240 (2.27)	244 (2.27)
凝视时间	246 (3.40)	247 (3.40)	281 (3.40)	281 (3.40)
总注视时间	276 (7.70)	278 (7.71)	402 (7.71)	399 (7.71)
跳读概率	29.5 (0.9)	25.1 (0.9)	21.6 (0.9)	20.8 (0.9)
再注视概率	6.9 (0.7)	9.1 (0.7)	14.2 (0.7)	13.5 (0.7)
回视概率	10.3 (0.7)	9.3 (0.7)	18.8 (0.7)	13.5 (0.7)

3.3 讨论

实验 2 操控双字目标词汇的语境预测性和首字字频，检验两个变量是否交互影响词汇识别。结果如下：首先，语境预测性效应完全与实验 1 相同。其次，首字字频不影响目标词上的注视时间(首次注视时间、凝视时间和总注视时间)，但却影响注视概率(见表 7 和表 8)，读者跳读和回视首字高频目标词汇的概率大于首字低频目标词汇，再注视首字高频目标词汇的概率则小于首字低频目标词汇。以往研究发现，读者跳读未被充分加工的词汇时，随后更容易对之进行回视再加工(Rayner, 1998, 2009)，还有证据显示，中国读者可在没有充分识别词汇的情况下，跳读其内汉字(Lin et al., 2018)，因而首字字频影响注视概率结果的具体模式应与跳读导致词汇加工不充分有关，读者会通过增加回视的方式，弥补“因跳读首字高频目标词汇所致对之识别加工”的不足。首字字频不影响注视时间，但却影响跳读和再注视概率，可归根于双字词汇中首字的加工

表 8 实验 2 混合线性模型分析结果

变量	首次注视时间					凝视时间				
	b	*SE*	*t*	*p*	95% CI	*b*	*SE*	*t*	*p*	95% CI
Intercept	2.33	0.01	443.52	< 0.001	[2.32, 2.34]	2.39	0.01	352.54	< 0.001	[2.38, 2.40]
首字字频	−0.00	0.00	−0.04	0.97	–	0.00	0.00	0.48	0.63	–
语境预测性	0.03	0.00	10.11	< 0.001	[0.02, 0.03]	0.05	0.00	3.25	0.001	[0.04, 0.06]
首字字频×语境预测性	0.02	0.01	1.53	0.13	–	0.01	0.02	0.31	0.76	–
变量	总注视时间					跳读概率				
	b	*SE*	*t*	*p*	95% CI	*b*	*SE*	*z*	*p*	95% CI
Intercept	2.51	0.01	223.69	< 0.001	[2.38, 2.40]	−1.26	0.06	−21.48	< 0.001	[−1.38, −1.15]
首字字频	−0.01	0.00	−1.42	0.16	–	−0.14	0.04	−3.42	< 0.001	[−0.21, −0.06]
语境预测性	0.11	0.00	27.75	< 0.001	[0.04, 0.06]	−0.35	0.04	−8.87	< 0.001	[−0.43, −0.27]
首字字频×语境预测性	0.01	0.04	0.34	0.74	–	−0.19	0.18	1.06	0.29	–
变量	再注视概率					回视概率				
	b	*SE*	*z*	*p*	95% CI	*b*	*SE*	*z*	*p*	95% CI
Intercept	−2.44	0.08	−29.85	< 0.001	[−2.60, −2.28]	−2.37	0.10	−23.80	< 0.001	[−2.56, −2.17]
首字字频	0.13	0.06	2.36	0.02	[0.02, 0.24]	−0.25	0.06	−4.66	< 0.001	[−0.36, −0.15]
语境预测性	0.67	0.06	12.25	< 0.001	[0.57, 0.78]	0.71	0.06	13.00	< 0.001	[0.60, 0.82]
首字字频×语境预测性	−0.35	0.26	−1.35	0.18	–	−0.22	0.37	−0.59	0.56	–

受到整词加工的影响较大(申薇, 李兴珊, 2012), 而读者选择汉字作为眼跳目标时较少受整词加工影响(Li & Pollatsek, 2011; Lin et al., 2018; Ma & Li, 2015)。最后, 没有发现语境预测性与首字字频变量间的交互作用显著。贝叶斯因子检验也倾向于支持零假设, 说明语境预测性与首字字频变量也是相对独立地影响中文词汇识别。

在语境预测性是否与频率变量交互影响词汇识别问题上, 实验 2 和实验 1 的结果完全一致。这种结果可在一定程度上归根于如下原因: 首先, 中文阅读中, 读者基于整词单元激活整个双字词汇(Shen et al., 2018), 因而词内汉字的加工(比如, 视觉分析、字形知觉和单字识别)会受整词加工的影响; 其次, 对双字词汇而言, 整词加工对汉字加工的影响主要体现在首字加工方面, 证据表明, 识别双字词的首字受整词加工的影响较大(申薇, 李兴珊, 2012), 实验 2 在最大限度上控制了整词变量, 因此语境预测性与首字加工间的交互作用可能淹没在整词加工之中。不过, 需要指出的是, 双字词的尾字加工较少受到整词加工的影响, 且尾字加工与发生在词汇加工早期阶段的切词环节有关(Liang et al., 2015; 申薇, 李兴珊, 2012; Yen et al., 2012)。倘若语境预测性与频率变量交互影响词汇加工的早期阶段(比如, 视觉分析, 词形/字形知觉, 汉字识别等), 那么有可能观察到语境预测性与尾字字频交互影响读者的眼动数据, 实验 3 进一步检测这项可能。

4 实验 3: 语境预测性对尾字字频效应的影响

4.1 实验方法

4.1.1 被试

杭州师范大学内 314 名母语为汉语的大一本科生参与实验。所有被试的视力或矫正视力正常, 无色盲色弱, 所有被试之前均未参加过类似实验, 实验结束后获得一定报酬。

4.1.2 实验材料

实验材料的编制过程基本等同于实验 1 和实验 2, 不同的是, 实验 3 材料操控目标词汇的语境预测性和尾字字频。同样邀请 19 名大学生根据目标词之前的句子内容将句子补充完整, 并根据其填充效果确定语境预测性程度。在平衡无关变量的基础上选择合适框架句子, 最终选取了 40 个词对, 分别适合 40 个框架句子。4 种目标词汇在整词词频、首字字频、首字笔画数和尾字笔画数方面差异不显著($ps > 0.05$)。“高预测性−尾字高频”目标词与“高预测性−尾字低频”目标词、“低预测性−尾字低频”目标词与“低预测性−尾字高频”目标词在语境预测性程度上差异不显著($ps > 0.05$), “高预测性−尾字高频”目标词与“低预测性−尾字高频”目标词、“低预测性−尾字低频”目标词与“高预测性−尾字低频”目标词在尾字字频上差异也不显著($ps > 0.05$)。各组词汇在各项参数上均值和标准差见表 9。由表 10 可知, 40 个框架句子可被区分成两种类型(每个类型 20 句)。两种类型框架句子中目标词汇的左侧词在“整词词频、首字字频、尾字字频、首字笔画数和尾字笔画数”上差异均不显著($ps > 0.05$)。

40 名大学生对实验句子的通顺性与合理性进行 5 点评定(同实验 1 和实验 2)。结果发现: 包含 4 类目标词汇框架句子的通顺性和合理性不受“目标词汇的语境预测性变量、尾字字频变量及其交互作用”的影响($Fs < 0.75$, $ps > 0.39$; 包含“高预测性−尾字低频”目标词框架句子:通顺性 4.49, 合理性 4.62; 包含“高预测性−尾字高频”目标词框架句子: 通顺性 4.43, 合理性 4.42; 包含“低预测性−尾字低频”目标词框架句子: 通顺性 4.39, 合理性 4.40; 包含“低预测性−尾字高频”目标词框架句子: 通顺性 4.48, 合理性 4.21)。

4.1.3 实验设计

实验采用 2(目标词汇的语境预测性: 高预测性 *vs* 低预测性) × 2(目标词汇的尾字字频: 高频 *vs* 低频)两因素被试内设计。框架句子和目标词汇之间的平衡方式同实验 1。各种句子设置举例见表 10。

4.1.4 实验设备和程序

实验程序和实验程序同实验 1、实验 2。

表 9 实验 3 四种目标词汇的字频、笔画数, 整词词频和语境预测性参数均值和标准差

目标词汇种类	语境预测性	整词词频	首字字频	尾字字频	首字笔画数	尾字笔画数
高预测性−尾字高频	83.7 (14.3)	13 (11)	471 (563)	1123 (415)	7.8 (1.9)	8.1 (2.9)
低预测性−尾字低频	5 (2.4)	14 (19)	597 (725)	51 (28)	6.9 (2.5)	7.4 (2.3)
高预测性−尾字低频	83.7 (152)	15 (19)	611 (841)	47 (20)	7.1 (2.5)	7.8 (2.0)
低预测性−尾字高频	1.3 (4.1)	14 (24)	535 (801)	1115 (667)	7.2 (2.5)	7.3 (1.7)

表 10　实验 3 中包含 4 种目标词汇的框架句子举例

目标词汇种类	框架句子
高预测性–尾字高频	演员在拍戏之前都要认真地阅读*剧本*以便把握剧情细节。
低预测性–尾字低频	演员在拍戏之前都要认真地阅读*画册*以便把握剧情细节。
高预测性–尾字低频	小红没有及时向房东支付*房租*就被赶出了房间。
低预测性–尾字高频	小红没有及时向房东支付*现金*就被赶出了房间。

4.2　实验结果

实验因变量选择及其数据处理方法同实验 1 和实验 2。被试回答问题正确率的均值在 90%以上，表明其认真阅读并充分理解实验句子。表 11 呈现眼动指标的均值与标准误差，表 12 为各项指标的统计分析结果。

表 11　实验 3 各条件下目标词汇上注视时间类指标和注视概率类指标的均值与标准误差

指标	高预测性		低预测性	
	尾字高频	尾字低频	尾字高频	尾字低频
首次注视时间	225 (2.36)	222 (2.36)	232 (2.36)	241 (2.36)
凝视时间	247 (3.46)	238 (3.46)	257 (3.46)	278 (3.46)
总注视时间	282 (8.42)	256 (8.42)	361 (8.42)	425 (8.42)
跳读概率	29.8 (1.0)	30.1 (1.0)	27.0 (1.0)	24.3 (1.0)
再注视概率	8.0 (0.7)	6.1 (0.7)	8.7 (0.7)	13.2 (0.7)
回视概率	11.2 (0.7)	9.2 (0.7)	15.5 (0.7)	16.7 (0.7)

由表 11 和表 12 的统计结果可知：语境预测性在各项眼动指标上均显著，对于高语境预测性的目标词汇而言，读者注视之的时间，再注视和回视之的概率都小于低语境预测性目标词汇，跳读它的概率则大于低语境预测性目标词汇。尾字字频效应仅在总注视时间上显著，在凝视时间和跳读概率上边缘显著，读者对尾字高频目标词汇的总注视时间和凝视时间少于尾字低频目标词汇，跳读尾字高频目标词汇的概率则大于尾字低频目标词汇。语境预测性与尾字字频间交互作用在 4 项指标上显著或者边缘显著，简单效应分析显示，对于首次注视时间，高语境预测性条件下尾字字频效应不显著 $b = -0.01$, $SE = 0.01$, $t = -1.09$，低语境预测性条件下尾字字频效应显著 $b = 0.02$, $SE = 0.01$, $t = 2.88$, $p = 0.01$, 95% CI [0.01, 0.04]；对于凝视时间，高语境预测性条件下尾字字频效应不显著 $b = -0.02$, $SE = 0.01$, $t = -1.40$，低语境预测性条件下尾字字频效应显著 $b = 0.03$, $SE = 0.01$, $t = 3.13$, $p = 0.003$, 95% CI [0.01, 0.06]；对于总注视时间，高语境预测性条件下尾字字频效应不显著 $b = -0.03$, $SE = 0.02$, $t = -1.23$，低语境预测性条件下尾字字频效应显著 $b = 0.06$, $SE = 0.02$, $t = 2.73$, $p = 0.01$, 95% CI [0.02, 0.09]；对于再注视概率，高语境预测性条件下尾字字频效应不显著 $b = -0.24$, $SE = 0.18$, $t = -1.34$，低语境预测性条件下尾字字频效应显著 $b = 0.61$, $SE = 0.18$, $t = 3.41$, $p < 0.001$, 95% CI [0.26, 0.96]。

表 12　实验 3 混合线性模型分析结果

变量	首次注视时间					凝视时间				
	b	*SE*	*t*	*p*	95% CI	*b*	*SE*	*t*	*p*	95% CI
Intercept	2.33	0.01	400.65	< 0.001	[2.32, 2.34]	2.39	0.01	313.49	< 0.001	[2.37, 2.40]
尾字字频	0.01	0.00	1.46	0.14	–	0.01	0.00	1.82	0.07	[0.00, 0.01]
语境预测性	0.02	0.0	6.59	< 0.001	[0.02, 0.03]	0.03	0.00	9.25	< 0.001	[0.03, 0.04]
尾字字频×语境预测性	0.03	0.01	1.99	0.05	[0.00, 0.05]	0.05	0.02	2.38	0.02	[0.01, 0.09]
变量	**总注视时间**					**跳读概率**				
	b	*SE*	*t*	*p*	95% CI	*b*	*SE*	*z*	*p*	95% CI
Intercept	2.50	0.01	212.21	< 0.001	[2.37, 2.40]	−1.06	0.07	−16.15	< 0.001	[−1.19, −0.94]
尾字字频	0.01	0.00	3.07	0.002	[0.00, 0.01]	−0.07	0.04	−1.73	0.08	[−0.15, −0.01]
语境预测性	0.11	0.00	24.14	< 0.001	[0.03, 0.04]	−0.24	0.04	−5.68	< 0.001	[−0.32, −0.16]
尾字字频×语境预测性	0.08	0.04	2.08	0.05	[0.01, 0.09]	−0.16	0.22	−0.73	0.47	–
变量	**再注视概率**					**回视概率**				
	b	*SE*	*z*	*p*	95% CI	*b*	*SE*	*z*	*p*	95% CI
Intercept	−2.94	0.10	−28.14	< 0.001	[−3.14, −2.73]	−2.39	0.11	−21.04	< 0.001	[−2.61, −2.17]
尾字字频	0.09	0.07	1.31	0.19	–	−0.05	0.06	−0.75	0.46	–
语境预测性	0.50	0.07	7.26	< 0.001	[0.37, 0.63]	0.68	0.06	11.37	< 0.001	[0.57, 0.80]
尾字字频×语境预测性	0.80	0.33	2.41	0.02	[0.15 1.48]	0.40	0.43	0.93	0.35	–

4.3　讨论

实验 3 操控双字目标词汇的语境预测性和尾字字频，检验两个变量是否交互影响词汇识别过程。结果如下：首先，语境预测性效应完全同于前两项实验。其次，尾字字频的主效应除了影响注视时间外，还影响跳读和再注视概率，读者注视尾字低频目标词汇的时间(凝视时间、总注视时间)多于尾字高频目标词汇，读者跳读尾字高频目标词汇的概率显著大于尾字低频目标词汇，再注视尾字高频目标词汇的概率显著则少于尾字低频目标词汇。最后，语境预测性与尾字字频间交互作用在注视时间(首次注视时间、凝视时间、总注视时间)和再注视概率上达到显著或者边缘显著程度；简单效应分析发现，各项指标上的交互作用均表现为高语境预测性条件下，尾字字频效应不显著，低语境预测性条件下尾字字频效应则达到显著水平，高语境预测性会消除(减弱)尾字字频对词汇识别的影响，说明语境预测性能够预激活与词内尾字相关的表征，从而弥补低频率汉字的加工效率。

在繁体中文阅读中，研究发现，语境预测性与频率变量(词频)交互影响 N100 波幅，N100 反映视觉分析和字形、词形知觉；根据这个结果可以推测，语境预测性对词汇加工的影响起始于视觉分析或者字形、词形知觉；也由此可见，中文读者会根据语境预先激活相关表征以促进后续词汇识别(Lee et al., 2012)。词频与字频密切相关(组成高频词汇的汉字的频率也相对会较高)，故语境预测性与词频交互影响 N100 波幅可能实质上反映了语境影响单字视觉分析与知觉。除此之外，研究发现，自然阅读中的词汇识别需建立在词内汉字的加工基础上(Ma et al., 2015；刘志方　等, 2017)。对于双字词汇的尾字加工(比如，其视觉分析，字形知觉和汉字识别)相对独立于整词加工(申薇，李兴珊，2012)，故识别双字词汇尾字加工对词汇识别尤为重要。实验 3 严格控制了整词词频，结果发现，语境预测性与尾字字频间交互作用在多个因变量上显著。由此研究可以推测，语境预测性与尾字字频变量交互影响前词汇加工阶段，这种交互模式至少体现在尾字加工环节(比如，视觉分析、字形知觉与汉字识别等)。

5　总讨论

阅读中读者通常会利用语境信息促进词汇识别，高语境预测性目标词汇比低语境预测性词汇也更容易被整合理解(Clifton et al., 2016; Dambacher et al., 2006; Rayner, 1998, 2009)。拼音文字阅读研究发现，语境预测性能促进目标词汇的预视加工(Schotter, Angele, & Rayner, 2012; Schotter, Lee, Reiderman, & Rayner, 2015; White et al., 2005)。中文阅读中也发现，读者会利用语境预测性信息促进对双字目标词汇的预视加工，进而影响指向该词的眼跳幅度(Liu et al., 2018)。本研究以双字目标词汇为例，探讨语境预测性影响早期词汇加工阶段的具体机制，3 项实验结果一致发现，高语境预测性目标词汇被跳读的概率显著大于低语境预测性目标词汇，读者会根据预视加工中获得的部分信息跳读目标词汇，可见语境预测性对中文词汇加工的影响至少起始于预视阶段；除了跳读概率外，语境预测性还影响其他各类眼动数据。各项指标侧重反映不同阶段的词汇加工(Rayner, 1998, 2009)，由此可知，语境预测性影响中文词汇加工的起始点很早，其影响多个词汇加工阶段(或其效应延续性较强)。本研究考察语境预测性与频率变量间的交互作用，交互作用显著意味着语境预测性至少可以直接影响频率变量所代表的加工环节，这利于深化理解语境预测性影响词汇加工的具体机制。

5.1　语境预测性分别与词频、字频交互影响词汇加工的差异

词频效应出现意味着加工进入或者经历了词汇通达(Hudson & Bergman, 1985; Monsell et al., 1989; Sereno & Rayner, 2000, 2003)，语境预测性与词频交互效应显著意味着语境预测性直接影响词汇通达。本研究没有发现语境预测性与词频交互作用显著，两个主效应也存在差异，这种差异可部分地解释交互作用不显著的原因。英语阅读中语境预测性非常稳定地影响跳读概率(Balota et al., 1985; Schustack et al., 1987)，而词频是否影响跳读则是选择性的、有条件的，仅在前注视点接近目标词汇情况时，读者跳读高频目标词汇的概率才会显著高于跳读低频目标词汇的概率，可见语境预测性对跳读的影响程度大于词频变量(Rayner, & Duffy, 1986; Rayner & Well, 1996; Rayner, 1998, 2009)。实验 1 同样发现，语境预测性和词频在影响跳读概率上存在差异，词频不能影响跳读概率。读者会根据预视获取的目标词汇的部分信息(此时目标词汇并未被完全识别)决定是否跳读该目标词汇(Engbert et al., 2005; Rayner et al., 2004; Reichle et al., 1998, 2003)。语境预测性影响目标词汇的跳读概率，说明

语境预测性变量会促进目标词汇的预视加工。词频不影响跳读概率，说明词频变量较难影响目标词汇预视加工。据此可知，语境预测性变量开始影响词汇加工的时间点早于词频变量，这应是它们相对独立地影响词汇通达潜在原因和表现。

相对于语境预测性和词频效应，字频变量仅影响有限的眼动指标。不过，在跳读概率上，字频效应与语境预测性效应之间的差异不大，字频影响跳读概率说明该变量对词汇加工的影响也起始于预视加工，故从“变量开始影响词汇加工的时间点”角度看，词频效应与字频效应有一定差异，而语境预测性效应与字频效应差异不大，语境预测性有可能与字频交互影响词汇加工的某个(些)阶段。Ma 等人(2015)的研究发现，双字目标词汇的字频效应能在目标词左侧词汇上的注视时间指标上显现，而目标词汇的整词词频效应则只能在目标词汇的注视时间上可见，他们据此推测，识别双字词汇时字的加工要先于词的加工。还有证据显示，读者需要在获取单字编码的基础上获取整词编码，预视中可获取双字词汇的单字编码，而整词编码则需要在注视中获取(刘志方　等, 2017)。本研究结果(字频效应和词频效应在跳读概率上有所差异)，再次验证这个推测的合理性，说明识别多字词的早期加工中包含字的加工环节(比如，单字视觉分析，字形知觉和单字识别等)；而语境预测性与尾字字频交互作用在多个眼动指标上显著，说明语境预测性与尾字字频至少交互影响尾字加工的部分环节。

对比实验 1 与后两项实验结果间差异可见，在语境预测性与频率变量交互影响词汇识别问题上，“词频与语境预测性间交互作用”不如“字频(主要是尾字字频变量)与语境预测性间交互作用”明显。语境预测性与整词词频间交互作用、语境预测性与首字字频间交互作用都不显著，仅观察到语境预测性与尾字字频交互作用显著。考虑到首字加工能在较大程度上代表词的加工(Li & Pollatsek, 2011)，故语境预测性与首字字频间的交互在较大程度上反映了语境加工与整词加工间的交互模式。综合词频变量、字频变量在与语境预测性交互作用方面的差异，可得出以下推论：语境预测性与频率变量交互影响词汇加工的程度，随着加工层面的上升而逐渐减弱；在词的加工层面上，频率变量与语境预测性间的交互作用趋于消失。这种结果可在预测编码(Predictive Code)理论中得到解释。该理论认为，主观预期信息与实际观测信息在各感知觉加工层面上交互影响，交互激活会随着加工层面上升逐渐减弱，直到知觉完成(Summerfield & Egner, 2009)，由此可知，该理论有潜力解释阅读中的字词知觉过程。

5.2 语境预测性分别与首字字频、尾字字频交互影响词汇加工的差异

实验 2 和实验 3 考察语境预测性与字频交互影响词汇识别过程特点。对比两项实验结果可得出两项发现：首先，首字字频和尾字字频变量影响眼动数据的模式不同，相对于首字字频因素，尾字字频变量影响更为广泛的眼动数据。Li 等人(2014)研究发现，词频变量对眼动控制过程的影响作用大于字频变量的影响作用，单字加工从属于/受制于其所在词汇的整词加工。行为学证据显示，首字加工在较大程度上依赖于整词激活，而尾字加工则在一定程度上独立于整词激活(申薇，李兴珊, 2012)。故当严格控制了词汇变量(词频)时，首字字频效应比尾字字频效应更容易被淹没在整词加工之中。考虑到首字能在较大程度上代表整词(Li & Pollatsek, 2011)，而尾字加工则与整词加工有所分离，其较少受整词加工的影响，当前研究在控制整词变量的基础上(实验操控语境预测性变量，控制词频、笔画数变量)发现，尾字字频效应比首字字频效应更加明显，这说明相对首字加工，尾字加工更不容易被淹没在整词加工当中。故综合首字字频效应与尾字字频效应间差异以及以往研究结论，不难推测：双字词汇识别中，“整词加工与首字加工间的交互激活模式(程度)”不同于“整词加工与尾字加工间的交互激活模式(程度)”。当然，对此还需深入探讨。

其次，在与语境预测性之间的交互作用方面，首字字频效应和尾字字频效应也相差甚大。具体而言，我们发现，不存在首字字频与语境预测性间的交互作用，而尾字字频则与语境预测性交互影响多个因变量指标。首字加工容易被淹没至整词加工当中，故实验 2 结果再次表明语境加工与整词加工以相对比较独立的方式影响词汇识别。实验 3 发现，语境预测性与词内尾字字频交互影响多项指标。语境预测性分别与首字字频、尾字字频交互作用差异有利于揭示阅读中的切词机制，理由如下：首先，研究发现，目标词汇尾字后添加空格可促进目标词汇识别，而在目标词汇首字前增加空格则达不到相应效果(Liu & Li, 2012)；汉字出现在词尾频率与其出现在词首频率间的比值影响词汇加工与习得(Liang et al., 2015; Yen et al., 2012)，这些研究结论表明尾字加工(激活)与切词相关。其次，已知语境

是阅读切词的重要参照线索(Li et al., 2009, 2011; 苏衡, 刘志方, 曹立人, 2016)。最后, 词切分发生时程较早(Gu & Li, 2015), 从发生时间上, 语境预测性效应、尾字字频效应的发生时程有可能与词切分有所重叠。综合本研究与以往研究结论可以推测：语境加工、尾字加工及其之间的交互作用, 可能都是词切分的潜在机制。当然, 对此还需深入研究。

5.3　理论启示

观察语境预测性与词频、字频变量间的交互作用可推测词汇识别的语境效应机制。本研究仅发现语境预测性与尾字字频交互作用显著, 而其与词频、首字字频变量间交互作用不显著, 由此可以推测语境预测性至少直接影响尾字加工的某个(些)环节(比如, 视觉分析、字形知觉或单字识别等)。药盼盼和李兴珊(2019)观测到语境预测性与正字法邻居变量交互影响中文读者的眼动数据, 他们据此推测, 语境预测性可以在识别词汇之前激活目标词, 从而促进目标词汇加工。另有研究发现, 中文阅读中的语境预测性效应依赖于视觉刺激(苏衡 等, 2016)。ERP 证据表明, 语境预测性与词频变量交互影响视觉分析(Lee et al., 2012), 来自 fMRI 方面证据也提示, 语境预测性对词汇加工的影响起始于视觉分析, 而非词汇通达(Altmann & Kamide 1999; Bonhage et al., 2015)。语境效应与频率效应分别反映不同性质的加工过程, 前者代表自上而下的加工, 而后者则与自下而上加工相关(Dambacher et al., 2006)。尾字加工隶属于整词加工的早期阶段, 故语境预测性与频率变量间交互效应模式意味着, 语境与词汇特征(包括词内单字特征)交互影响词汇加工至少发生在“视觉分析至尾字加工”的一段时程内, 当加工进入词汇通达和语义整合阶段时, 两类加工则相对独立。

根据本研究结果可限制和澄清语境预测性效应的具体机制, 这有利于验证和发展阅读认知理论模型。E-Z 读者后续版本假定语境预测性和词频以相加的方式影响词汇加工的各阶段(Rayner et al., 2004); SWIFT 模型可接纳两个因素交互激活的可能(Engbert et al., 2005; Hand et al., 2010)。Glenmore 模型仅限定低加工层面之间的交互模式(比如, 字母加工层面和视觉加工层面), 但并未考虑语境与低层次加工间交互可能。考虑到上述模型并未包含单字加工和词切分模块, 它们在解释本研究结果方面有所局限。本研究发现, 语境预测性与低水平变量交互影响词汇加工的早期阶段, 这有利于完善西文阅读眼动控制模型。李兴珊等人构建的词切分模型假定词的加工与字的加工之间存在交互激活, 但对于“语境加工与词的加工之间”和“语境加工与字的加工之间”是否存在交互激活现象, 并没有提出明确假设(Li et al., 2009, 2014; 李兴珊 等, 2011)。考虑到这个模型本质是个交互激活模型, 因此增加语境预测性与字的加工交互影响词汇早期加工阶段的具体机制后, 能够更好地解释中文阅读中的词汇加工过程。当然, 完美模拟中文阅读中的词汇加工与眼动控制过程仍需更多的研究结果与证据。

本研究也检验了交互激活理论与认知模块理论(Fodor, 1983; Forster, 1979, 1981; McClelland, & Rumelhart, 1981; McClelland, 1987; Morton, 1969; Rumelhart & McClelland, 1982)。我们发现, 语境预测性与频率变量交互影响早期词汇加工的某环节(尾字加工), 这符合交互激活理论预期。不过, 至少词汇加工进入通达阶段以后, 两类变量以相对独立的方式影响词汇加工, 说明认知模块理论至少能解释词汇加工的部分阶段。研究发现, 解码词汇较难时(尤其对于阅读能力较低读者而言)会加重对语境信息的依赖(Ashby et al., 2005; Huck et al., 2017), 解码过程达到自动化程度时, 两类加工则可相对独立。解码中文词汇的工序较为繁琐复杂, 中文读者需要在预视和注视中连续地重解码, 识别中文词汇需要额外词切分和汉字加工环节(Bai et al., 2008; Inhoff & Liu, 1998; Li et al., 2009, 2014; Liang et al., 2015; Yen et al., 2012), 这可能是导致成年中文读者语境预测性与频率变量(尾字字频)交互作用显著的潜在原因之一。有观点认为, 交互激活加工和认知模块化加工共存于认知系统, 当自下而上编码加工效率不足时, 人类认知系统会加重对背景信息的依赖, 以便产生交互激活的加工策略(Stanovich, 1986)。中文读者也许会根据文本难度和自身能力实时调整阅读加工策略, 进而影响交互激活程度, 当然这个问题还需深入探讨。

6　结论

中文阅读中, 语境预测性与词汇频率类变量影响词汇加工的模式在不同加工阶段各有特点。语境预测性至少直接影响前词汇加工的部分环节(比如, 尾字加工); 词汇加工进入通达阶段时, 语境预测性与频率类变量(首字字频和整词词频)的影响作用则相对独立。

参 考 文 献

Altarriba, J., Kroll, J. F., Sholl, A., & Rayner, K. (1996). The influence of lexical and conceptual constraints on reading mixed language sentences: Evidence from eye fixations and naming times. *Memory & Cognition, 24*, 477–492.

Altman, D. G., & Bland, J. M. (1995). Absence of evidence is not evidence of absence. *British Medical Journal, 311*, 485–485.

Altmann, G. T. M., & Kamide, Y. (1999). Incremental interpretation at verbs: Restricting the domain of subsequent reference. *Cognition, 73*(3), 247–264.

Ashby, J., Rayner, K., & Clifton, C. (2005). Eye movements of highly skilled and average readers: Differential effects of frequency and predictability. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 58*(6), 1065–1086.

Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language, 59*(4), 390–412.

Bai, X., Yan, G., Liversedge, S. P., Zang, C., & Rayner, K. (2008). Reading spaced and unspaced Chinese text: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 34*(5), 1277−1287.

Balota, D. A., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1985). The interaction of contextual constraints and parafoveal visual information in reading. *Cognitive Psychology, 17*(3), 364–390.

Barr, D. J., Levy, R., Scheepers, C., & Tily, H. J. (2013). Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. *Journal of Memory and Language, 68*(3), 255–278.

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed–effects models using lme4. *Journal of Statistical Software, 67*, 1–48.

Bonhage, C. E., Mueller, J. L., Friederici, A. D., & Fiebach. C. J. (2015). Combined eye tracking and fMRI reveals neural basis of linguistic predictions during sentence comprehension. *Cortex, 68*, 33–47.

Cervero, F., & Laird, J. M. (2000). Absence of evidence is not evidence of absence (again). *Pain, 84*(1), 114–115.

Chen, C., Liu, Z., Su, Y., & Cheng, Y. (2018). The prediction effects for skill and less-skill deaf readers in Chinese reading: Evidence from eye movement. *Psychological Development and Education, 34*(6), 692–699.

[陈朝阳, 刘志方, 苏永强, 程亚华. (2018). 高低阅读技能聋生词汇加工的语境预测性效应特点：眼动证据. *心理发展与教育, 34*(6), 692–699.]

Clifton, C., Ferreira, F., Henderson, J. M., Inhoff, A. W., Liversedge, S. P., Reichle, E. D., & Schotter, E. R. (2016). Eye movements in reading and information processing: Keith Rayner’s 40 year legacy. *Journal of Memory and Language, 86*(1), 1–19.

Dambacher, M., Kliegl, R., Hofmann, M., & Jacobs, A. M. (2006). Frequency and predictability effects on event related potentials during reading. *Brain Research, 1084*(1), 89–103.

Ehrlich, S. F., & Rayner, K. (1981). Contextual effects on word perception and eye movements during reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 20*(6), 641–655.

Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). Swift: A dynamical model of saccade generation during reading. P*sychological Review, 112*(4), 777–813.

Fischler, I. (1985). Word recognition, use of context, and reading skill among deaf college students. *Reading Research Quarterly, 20*(2), 203–218.

Fodor, J. A. (1983). *The Modularity of Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.

Forster, K. I. (1979). Levels of processing and the structure of the language processor. In W. E. Cooper & E. Walker (Eds.), *Sentence processing: Psycholinguistic studies to Merrill Garrett* (pp.27–85). Hillsdale, NJ: Erbaum.

Forster, K. I. (1981). Priming and the effects of sentence and lexical contexts on naming time-evidence for autonomous lexical processing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology. 33*(4), 465–495.

Gollan, T., Slattery, T. J., Goldenberg, D., van Assche, E., Duyck, W., & Rayner, K. (2011). Frequency drives lexical access in reading but not in speaking: The frequency-lag hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: General, 140*(2), 186–209.

Gu, J, & Li, X. (2015). The effects of character transposition within and across words in Chinese reading. *Attention, Perception, and Psychophysics, 77*(7), 272–281.

Hand, C. J., Miellet, S., O’Donnell, P. J., & Sereno, S. C. (2010). The frequency-predictability interaction in reading: It depends where you’re coming from. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 36*(5), 1294–1313.

Hu, C., Kong, X., Wagenmakers, E. J., Ly, A., & Peng, K. (2018). The Bayes factor and its implementation in JASP: A practical primer. *Advances in Psychological Science, 26*(6), 951–965.

[胡传鹏, 孔祥祯, Wagenmakers, E. J., Ly, A., 彭凯平. (2018). 贝叶斯因子及其在 JASP 中的实现. *心理科学进展, 26*(6), 951–965.]

Huck, A., Thompson, R. L., Cruice, M., & Marshall, J. (2017). Effects of word frequency and contextual predictability on sentence reading in aphasia: An eye movement analysis. *Aphasiology, 31*(11), 1307–1332.

Hudson, P. T. W., & Bergman, M. W. (1985). Lexical knowledge in word recognition: Word length and word frequency in naming and lexical decision tasks. *Journal of Memory and Language, 24*(1), 46–58.

Inhoff, A. W. (1984). Two stages of word processing during eye fixations in the reading of prose. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 23*(5), 612–624.

Inhoff, A. W., & Liu, W. (1998). The perceptual span and oculomotor activity during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*(1), 20–34.

Kliegl, R., Grabner, E., Rolfs, M., & Engbert, R. (2004). Length, frequency, and predictability effects of words on eye movements in reading. *European Journal of Cognitive Psychology, 16*(1-2), 262–284.

Kretzschmar, F., Schlesewsky, M., & Staub, A. (2015). Dissociating word frequency and predictability effects in reading: Evidence from coregistration of eye movements and EEG. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 41*(6), 1648–1662.

Lee, C. Y., Liu, Y. N., & Tsai, J. L. (2012). The time course of contextual effects on visual word recognition. *Frontiers in Psychology, 3*. 285.

Li, X., & Pollatsek, A. (2011). Word knowledge influences character perception. *Psychonomic Bulletin & Review, 18*(5), 833–839.

Li, X., Bicknell, K., Liu, P., Wei, W., & Rayner, K. (2014). Reading is fundamentally similar across disparate writing

systems: A systematic characterization of how words and characters influence eye movements in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: General, 143*(2), 895−913.

Li, X., Liu, P. P., & Ma, G. J. (2011). Advances in cognitive mechanisms of word segmentation during Chinese reading. *Advances in Psychological Science, 19*(4), 459–470.

[李兴珊，刘萍萍，马国杰. (2011). 中文阅读中词切分的认知机理述评. *心理科学进展, 19*(4), 459–470.]

Li, X., Rayner, K., & Cave, K. P. (2009). On the segmentation of Chinese words during reading. *Cognitive Psychology, 58*(4), 525–552.

Li, X. S., & Shen, W. (2013). Joint effect of insertion of spaces and word length in saccade target selection in Chinese reading. *Journal of Research in Reading, 36*(S1), S64–S77.

Liang, F., Blythe, H. I., Zang, C., Bai, X., Yan, G., & Liversedge, S. P. (2015). Positional character frequency and word spacing facilitate the acquisition of novel words during Chinese children's reading. *Journal of Cognitive Psychology, 27*(5), 594–608.

Lin, N., Angele, B., Hua, H., Shen, W., Zhou, J., & Li, X. (2018). Skipping of Chinese characters does not rely on word-based processing. *Attention, Perception, & Psychophysics, 80*(2), 600–607.

Liu, P. P., & Li, X. S. (2012). Inserting spaces before and after words affects word processing differently in Chinese: Evidence from eye movements. *British Journal of Psychology, 105*(1), 57–68.

Liu, Y., Guo, S., Yu, L., & Reichle, E. D. (2018). Word predictability affects saccade length in Chinese reading: An evaluation of the dynamic–adjustment model. *Psychonomic Bulletin & Review. 25*(5), 1891–1899.

Liu, Z., Zhang, Z., Pan, Y., Tong, W., & Su, H. (2017). The characteristics of visual word encoding in preview and fixation frames during Chinese reading: Evidences from disappearing text. *Acta Psychologica Sinica, 49*(7), 853–865.

[刘志方，张智君，潘运，仝文，苏衡. (2017). 中文阅读中预视阶段和注视阶段内词汇视觉编码的过程特点：来自消失文本的证据. *心理学报, 49*(7), 853–865.]

Lu, Z. L., Bai, X. J., & Yan, G. L. (2008). Eye movement study on the interaction between word frequency and predictability in the recognition of Chinese words. *Psychological Research, 1*(4), 29–33.

[卢张龙，白学军，闫国利. (2008). 汉语词汇识别中词频和可预测性交互作用的眼动研究. *心理研究, 1*(4), 29–33.]

Ma, G., & Li, X. (2015). How character complexity modulates eye movement control in Chinese reading. *Reading & Writing, 28*(6), 747–761.

Ma, G., Li, X., & Rayner, K. (2015). Readers extract character frequency information from nonfixated-target word at long pretarget fixations during Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 41*(5), 1409–1419.

McClelland, J. L. (1987). The case for interactionism in language processing. *Psychology of Reading, 1*(12), 3–36.

McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception, part i: An account of basic findings. *Readings in Cognitive Science, 88*(5), 580–596.

Miellet, S., Sparrow, L., & Sereno, S. C. (2007). Word frequency and predictability effects in reading French: An evaluation of the E-Z reader model. *Psychonomic Bulletin & Review, 14*(4), 762–769.

Monsell, S., Doyle, M. C., & Haggard, P. N. (1989). Effects of frequency on visual word recognition tasks: Where are they?. *Journal of Experimental Psychology: General, 118*(1), 43–71.

Morey, R. D., Rouder, J. N., Jamil, T., Urbanek, S., Forner, K., & Ly, A. (2018). BayesFactor: Computation of Bayes factors for common designs. Retrieved from https://CRAN.R-project.org/package=BayesFactor.

Morton, J. (1969). Interaction of information in word recognition. *Psychological Review, 76*(2), 165–178.

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin, 124*(3), 372–422.

Rayner, K. (2009). The Thirty-Fifth Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention during reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*(8), 1457–1506.

Rayner, K., & Duffy, S. A. (1986). Lexical complexity and fixation times in reading: Effects of word frequency, verb complexity, and lexical ambiguity. *Memory and Cognition, 14*(3), 191–201.

Rayner, K., & Well, A. D. (1996). Effects of contextual constraint on eye movements in reading: A further examination. *Psychonomic Bulletin & Review, 3*(4), 504–509.

Rayner, K., Ashby, J., Pollatsek, A., & Reichle, E. D. (2004). The effects of frequency and predictability on eye fixations in reading: Implications for the E-Z Reader model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 30*(4), 720–732.

Rayner, K., Binder, K. S., Ashby, J., & Pollatsek, A. (2001). Eye movement control in reading: Word predictability has little influence on initial landing positions in words. *Vision Research, 41*(7), 943–954.

Rayner, K., Li, X., Juhasz, B. J., & Yan, G. (2005). The effect of word predictability on the eye movements of Chinese readers. *Psychonomic Bulletin & Review, 12*(6), 1089–1093

Rayner, K., Reichle, E. D., Stroud, M. J., Williams, C. C., & Pollatsek, A. (2006). The effect of word frequency, word predictability, and font difficulty on the eye movements of young and older readers. *Psychology and Aging, 21*(3), 448–465.

Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review, 105*(1), 125–157.

Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The E-Z reader model of eye-movement control in reading: Comparisons to other models. *Behavioral and Brain Sciences, 26*(4), 445–526.

Reilly, R. G., & Radach, R. (2006). Some empirical tests of an interactive activation model of eye movement control in reading. *Cognitive Systems Research, 7*(1), 34–55.

Reilly, R., & Radach, R. (2012). The dynamics of reading in non-Roman writing systems: A reading and writing special issue. *Reading & Writing, 25*(5), 935–950.

Richter, E. M., Engbert, R., & Kliegl, R. (2006). Current advances in SWIFT. *Cognitive Systems Research, 7*(1), 23–33.

Rouder, J. N., & Morey, R. D. (2012). Default Bayes factors for model selection in regression. *Multivariate Behavioral Research, 47*(6), 877–903.

Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1982). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part ii. The contextual enhancement effect and some tests and extensions of the model. *Psychological Review, 89*(1), 60–94.

Schotter, E. R., Angele, B., & Rayner, K. (2012). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception & Psychophysics, 74*(1), 5–35.
Schotter, E. R., Lee, M., Reiderman, M., & Rayner, K. (2015). The effect of contextual constraint on parafoveal processing in reading. *Journal of Memory and Language, 83*, 118–139.
Schustack, M. W., Ehrlich, S. F., & Rayner, K. (1987). Local and global sources of contextual facilitation in reading. *Journal of Memory and Language, 26*(3), 322–340.
Sereno, S. C., & Rayner, K. (2000). The when and where of reading in the brain. *Brain and Cognition, 42*(1), 78–81.
Sereno, S. C., & Rayner, K. (2003). Measuring word recognition in reading: Eye movements and event-related potentials. *Trends in Cognitive Sciences, 7*(11), 489–493.
Shen, W., & Li, X. S. (2012). The uniqueness of word superiority effect in Chinese reading. *Chinese Science Bulletin, 57*(35), 3414–3420.
[申薇, 李兴珊. (2012). 中文阅读中词优效应的特异性. *科学通报, 57*(35), 3414–3420.]
Shen, W., Li, X., & Pollatsek, A. (2018). The processing of Chinese compound words with ambiguous morphemes in sentence context. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 71*(1), 131–139.
Slattery, T. J., Staub, A., & Rayner, K. (2012). Saccade launch site as a predictor of fixation durations in reading: Comments on Hand, Miellet, O'Donnell, and Sereno (2010). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 38*(1), 251–261.
Stanovich, K. E. (1986). Matthew effects in reading: Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Reading Research Quarterly, 21*(4), 360–407.
Stanovich, K. E., & West, R. F. (1981). The effect of sentence context on ongoing word recognition: Tests of a two-process theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 7*(3), 658–672.
Stanovich, K. E., & West, R. F. (1983). On priming by a sentence context. *Journal of Experimental Psychology: General, 112*(1), 1–36.
Su, H., Liu, Z., & Cao, L. (2016). The effects of word frequency and word predictability in preview and their implications for word segmentation in Chinese reading: Evidence from eye movements. *Acta Psychologica Sinica, 48*(6), 625–636.
[苏衡, 刘志方, 曹立人. (2016). 中文阅读预视加工中的词频和预测性效应及其对词切分的启示：基于眼动的证据. *心理学报, 48*(6), 625–636.]
Summerfield, C., & Egner, T. (2009). Expectation (and attention) in visual cognition. *Trends in Cognitive Sciences, 13*(9), 403–409.
Wagenmakers, E. J., Love, J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., … Morey, R. D. (2017). Bayesian inference for psychology. part ii: Example applications with JASP. *Psychonomic Bulletin & Review, 25*(1), 1–19.
White, S. J., Rayner, K., & Liversedge, S. P. (2005). The influence of parafoveal word length and contextual constraint on fixation durations and word skipping in reading. *Psychonomic Bulletin & Review, 12*(3), 466–471.
Yan, G., Tian, H., Bai, X., & Rayner, K. (2006). The effect of word and character frequency on the eye movements of Chinese readers. *British Journal of Psychology, 97*(2), 259–268.
Yao, P., & Li, X. (2019, October). *How does predictability affect word processing in real time sentence processing.* Paper presented at the meeting of The 22nd National Academic Congress of Psychology, Hangzhou, China.
[药盼盼, 李兴珊. (2019, 10 月). *可预测性促进词汇加工机制的探究.* 第二十二届全国心理学学术会议摘要, 杭州, 浙江]
Yen, M. H., Radach, R., Tzeng, O. J. L., & Tsai, J. L. (2012). Usage of statistical cues for word boundary in reading Chinese sentences. *Reading & Writing, 25*(5), 1007–1029.

Predictability impacts word and character processing in Chinese reading: Evidence from eye movements

LIU Zhifang[1]; TONG Wen[2]; ZHANG Zhijun[3]; ZHAO Yajun[4]

([1] *College of Education, Hangzhou Normal University, Hangzhou* 311121, *China*)
([2] *Department of Psychology, Shanxi Normal University, Linfen* 041004, *China*)
([3] *Department of Psychology and Behavioral Sciences, Zhejiang University, Hangzhou* 310028, *China*)
([4] *College of Education and Psychology, Southwest Minzu University, Chengdu* 610041, *China*)

Abstract

It has been extensively documented that the predictability of a word in context is closely related with how easily it can be processed. Although there is evidence that the precise time course of predictability effects facilitates the parafoveal processing of alphabetic words, i.e., the extraction of their visual, orthographic, phonological, and semantic features, the issue of how context impacts the early stages of word processing in Chinese reading remains a matter of debate. In particular, does it affect early word and character processing when identifying multi-character words? This issue was explored in the present study by manipulating the predictability of the target words and the frequency of words or characters. The hypothesis that predictability facilitates the early stage of word processing, i.e., word/character processing, predicts reliable interaction effects

of predictability with word/character frequency. Three experiments were conducted to check this prediction

Eye movements of participants were tracked as they read Chinese text. The sentences that contained target words were displayed in Song font, with each Chinese character subtending approximately 1.32 degrees of visual angle. The target words embedded in the sentences in the experiments were composed of two Chinese characters. All three experiments manipulated target words' predictability, in addition to which we also varied the target words' frequencies in Experiment 1, the frequencies of the initial characters of the target words in Experiment 2, and the frequencies of the end characters of the target words in Experiment 3. The movements of the participants' right eyes were recorded with an Eye Link 1000 device manufactured by SR Research Ltd.

Pervasive predictability effects were observed in the eye movement measures in all three experiments, such that high predictability words were fixated for longer times than low predictability words (i.e., first fixation duration, gaze duration, and total reading time), and were re-fixated and regressed less often and skipped more often than low predictability words. Except for skipping probability, a similar pattern was observed for the effects of word frequency, where frequency had a significant impact on first fixation duration, gaze duration, total reading time, and re-fixation and regression probability in Experiment 1. Reliable frequency effects of the initial character on probability measures were observed in Experiment 2, with higher probability of skipping and regression, and less re-fixation on words with high initial-character frequency than those with low initial-character frequency. Reliable or marginally reliable frequency effects of the end character were also observed in Experiment 3. Although no reliable interaction effects of predictability with frequency factors were observed in Experiments 1 and 2, pronounced interaction effects of predictability with end character frequency were observed on fixation time and re-fixation probability in Experiment 3.

The particular concerns of the present study were the interactions between word predictability and frequency variables. Bayes factor analyses of the linear mixed models in relation to first fixation duration, single fixation duration, and gaze duration were conducted for Experiments 1 and 2 whose results favored the null hypothesis. The lack of interaction effects in the first two experiments suggests independent impacts of word predictability and word or initial character frequency on Chinese word processing, while reliable interaction effects between word predictability and end character frequency in Experiment 3 suggest that word predictability affects prelexical processing, i.e., character processing in Chinese reading, thus suggesting that context directly impacts character processing in Chinese reading. Finally, the theoretical implications of the data are discussed.

Key words Chinese reading; word predictability; characters and word processing; eye movement